

PAT-NO: JP02001144339A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2001144339 A

TITLE: LAMINATED PIEZOELECTRIC ACTUATOR AND MANUFACTURING
METHOD THEREFOR

PUBN-DATE: May 25, 2001

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
ESASHI, MASAKI	N/A
SUZUKI, MANABU	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
ESASHI MASAKI	N/A
SUZUKI MANABU	N/A

APPL-NO: JP11319766

APPL-DATE: November 10, 1999

INT-CL (IPC): H01L041/083, B81C001/00 , H01L041/187 , H01L041/22

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide laminated piezoelectric actuators, which are easily formed into a one-dimensional actuator array of an integral structure and each optimal in characteristics, and a method of manufacturing the same.

SOLUTION: Narrow and deep grooves are provided on the surface of a piezoelectric ceramic board 1 by dicing, the grooves are filled with metal 9 to serve as outer and inner electrodes respectively, and joints between the inner electrodes and outer electrodes are locally cut off by laser-aided etching, by which a structure that functions as a laminated piezoelectric actuator can be obtained.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

BEST AVAILABLE COPY

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-144339

(P2001-144339A)

(43)公開日 平成13年 5月25日 (2001.5.25)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト*(参考)
H 0 1 L 41/083		B 8 1 C 1/00	
B 8 1 C 1/00		H 0 1 L 41/08	S
H 0 1 L 41/187		41/18	1 0 1 D
41/22		41/22	Z

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平11-319766

(22)出願日 平成11年11月10日 (1999.11.10)

(71)出願人 000167989

江刺 正喜

宮城県仙台市太白区八木山南1丁目11番地
9

(71)出願人 599158775

鈴木 学

宮城県仙台市太白区向山1-8-23 海藤
アパート1

(72)発明者 江刺 正喜

宮城県仙台市太白区八木山南一丁目11-9

(74)代理人 100082876

弁理士 平山 一幸 (外1名)

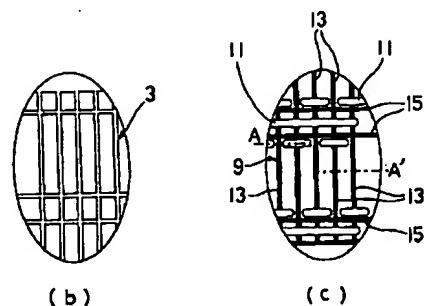
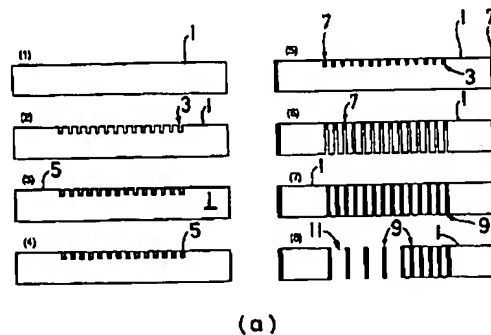
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 積層型圧電アクチュエータ及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】 一次元アクチュエータアレイを容易に一体製作できるとともに最適な特性を持つ積層型圧電アクチュエータ及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 圧電セラミクス基板1上にダイシング加工で形成した狭くて深い溝内部に、ニッケルの電解メッキにより外部及び内部電極となる金属9を充填し、レーザー支援エッチングにより内部電極と外部電極の接続部を局所的に切断することで、積層型圧電アクチュエータとして動作する構造を製造する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 一方の外部電極に立設した内部電極と、他方の外部電極に立設した内部電極とを相互に対向して設け、これら一以上の両内部電極間に圧電体を固定して挟み込んだ構造を備える、積層型圧電アクチュエータ。

【請求項2】 前記外部電極と前記圧電体との間に間隙を有していることを特徴とする、請求項1に記載の積層型圧電アクチュエータ。

【請求項3】 前記外部電極及び前記内部電極を電解メッキで形成したことを特徴とする、請求項1又は2記載の積層型圧電アクチュエータ。

【請求項4】 前記外部電極の他方の端部を共通の圧電体基板に固定して配列した一次元アレイ構造を有することを特徴とする、請求項1～3のいずれかに記載の積層型圧電アクチュエータ。

【請求項5】 前記一次元アレイ構造を二次元に配列して二次元アレイ構造アクチュエータとしたことを特徴とする、請求項4に記載の積層型圧電アクチュエータ。

【請求項6】 前記一次元アレイ構造のアクチュエータで電気配線のスイッチングアレイを形成したことを特徴とする、請求項4に記載の積層型圧電アクチュエータ。

【請求項7】 前記二次元アレイ構造アクチュエータをアクチュエータ単体及び複数のアクチュエータからなるドットのいずれかを単位として触覚ディスプレイを形成したことを特徴とする請求項5に記載の積層型圧電アクチュエータ。

【請求項8】 前記圧電体を圧電体基板をダイシングして形成したことを特徴とする、請求項1に記載の積層型圧電アクチュエータ。

【請求項9】 前記圧電体がPZT系材料であることを特徴とする、請求項1又は8記載の積層型圧電アクチュエータ。

【請求項10】 圧電セラミクス基板に溝を形成する第1工程と、この溝に金属を充填する第2工程と、上記圧電セラミクス基板の溝に対応して圧電セラミクス基板裏面に溝を形成する第3工程と、この溝に金属を充填して上記充填した金属と一体として内部電極及び外部電極を形成する第3工程と、この形成した内部電極及び外部電極をレーザー支援エッチングにより切断する第4工程と、を備える積層型圧電アクチュエータの製造方法。

【請求項11】 前記第1工程にあつて溝形成後、この溝内部に導電性の薄膜を堆積することを特徴とする、請求項10に記載の積層型圧電アクチュエータの製造方法。

【請求項12】 前記導電性の薄膜を電極として電解メッキにより金属を充填することを特徴とする、請求項11に記載の積層型圧電アクチュエータの製造方法。

【請求項13】 前記第3工程にあつて前記金属が露出するまで溝を加工することを特徴とする請求項10に記載の積層型圧電アクチュエータの製造方法。

【請求項14】 前記金属を電解メッキして充填したことを特徴とする、請求項10に記載の積層型圧電アクチュエータの製造方法。

【請求項15】 前記第4工程にあつて、前記レーザー支援エッチングにより前記内部電極を前記外部電極に対して交互に切断するとともに素子間分離をすることを特徴とする請求項10に記載の積層型圧電アクチュエータの製造方法。

【請求項16】 前記溝が格子状であることを特徴とする、請求項10に記載の積層型圧電アクチュエータの製造方法。

【請求項17】 前記溝をダイシング・ソーにより加工することを特徴とする、請求項10又は16に記載の積層型圧電アクチュエータの製造方法。

【請求項18】 前記レーザー支援エッチングにあつて、反応性雰囲気として前記充填する金属のエッチャントを使用したことを特徴とする、請求項10に記載の積層型圧電アクチュエータの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、一次元アクチュエータアレイを一体製作するのに最適な積層型圧電アクチュエータ及びその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】通常、従来の積層型圧電アクチュエータは、圧電セラミクス粉末、バインダ及び溶媒などを混合して泥状にしたスラリーをキャスト成膜したグリーンシート上に、内部電極となる銀ペーストを印刷したものを積層圧着し焼結することによって製造される。この積層型圧電アクチュエータは100 μ m程度の厚さの圧電セラミクス層を100層程度積層したものが一般的であり、100Vの駆動電圧で10 μ m程度の変位が得られる。この製造方法は、積層セラミクスコンデンサの製造方法を応用したものであり、大量かつ廉価に製造できるという特徴を有している。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の積層型圧電アクチュエータ製造方法では、特性の良好な積層体を得るために高い圧力をかけながら高温で焼結させる必要があり、大規模な炉等の施設が必要となる。また、良好な圧電特性を得るには、焼結過程における圧力や温度などのパラメータの最適化が不可欠である。

【0004】さらに、従来の積層型圧電アクチュエータでは、積層体側面に切断後の内部電極を露出させ、この側面の内部電極端部の一層おきにガラス絶縁物を形成し、裏面には一層ずらした位置に同様にガラス絶縁物を形成し、最後にこれらの上から外部電極を塗布、焼き付けにより形成して全ての内部電極を一層おきに電氣的に並列して接続しており、このガラス絶縁物をいかに正確にかつ能率良く形成するかが工業的に圧電アクチュエー

タ素子を大量生産するためのポイントになっている。

【0005】またアクチュエータアレイを製作する場合、個々のアクチュエータを何らかの手段で位置決めして並べる必要があり、作業効率が劣るという解決すべき課題がある。

【0006】そこで、この発明は、焼結済み圧電セラミクス基板を用いることにより、大規模な炉などの設備や焼結条件の最適化を必要としないで、一次元アクチュエータアレイを容易に一体製作できるとともに最適な特性を持つ積層型圧電アクチュエータ及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明のうちで積層型圧電アクチュエータの請求項1記載の発明は、一方の外部電極に立設した内部電極と、他方の外部電極に立設した内部電極とを相互に対向して設け、これら一以上の両内部電極間に圧電体を固定して挟み込んだ構造を備える構成とした。請求項2記載の発明は、上記構成に加え、外部電極と圧電体との間に間隙を有していることを特徴とする。

【0008】また請求項3記載の発明は、外部電極及び内部電極を電解メッキで形成したことを特徴とするものである。さらに請求項4記載の発明は、外部電極の他方の端部を共通の圧電体基板に固定して配列した一次元アレイ構造を有することを特徴とする。また請求項5記載の発明は、一次元アレイ構造を二次元に配列して二次元アレイ構造アクチュエータとしたことを特徴とする。

【0009】さらに請求項6記載の発明は、一次元アレイ構造のアクチュエータで電気配線のスイッチングアレイを形成したことを特徴とする。また請求項7記載の発明は、二次元アレイ構造アクチュエータをアクチュエータ単体及び複数のアクチュエータからなるドットのいずれかを単位として触覚ディスプレイを形成したことを特徴とするものである。さらに請求項8記載の発明は、圧電体を圧電体基板をダイシングして形成したことを特徴とする。また請求項9記載の発明は圧電体がPZT系材料であることを特徴とする。

【0010】このような構成により、本発明の積層型圧電アクチュエータは、圧電特性のばらつきがなく、圧電特性から計算される最適な変位発生力や周波数応答を得ることができる。

【0011】また本発明のうち、積層型圧電アクチュエータの製造方法の請求項10記載の発明は、圧電セラミクス基板に溝を形成する第1工程と、溝に金属を充填する第2工程と、圧電セラミクス基板の溝に対応して圧電セラミクス基板裏面に溝を形成する第3工程と、溝に金属を充填して充填した金属と一体として内部電極及び外部電極を形成する第3工程と、形成した内部電極及び外部電極をレーザー支援エッチングにより切断する第4工程と、を備える構成とした。

【0012】さらに請求項11記載の発明は、上記構成に加え、第1工程にあって溝形成後、溝内部に導電性の薄膜を堆積することを特徴とするものである。また請求項12記載の発明は、導電性の薄膜を電極として電解メッキにより金属を充填することを特徴とする。さらに請求項13記載の発明は、第3工程にあって、金属が露出するまで溝を加工することを特徴とする。また請求項14記載の発明は、金属を電解メッキして充填したことを特徴とする。

10 【0013】さらに請求項15記載の発明は、第4工程にあって、レーザー支援エッチングにより内部電極を外部電極に対して交互に切断するとともに素子間分離をすることを特徴とするものである。また請求項16記載の発明は、溝が格子状であることを特徴とする。さらに請求項17記載の発明は、溝をダイシング・ソーにより加工することを特徴とするものである。また請求項18記載の発明は、レーザー支援エッチングにあって、反応性雰囲気として充填する金属のエッチャントを使用したことを特徴とする。

20 【0014】このような構成により、この発明の積層型圧電アクチュエータの製造方法は、大規模な炉などの設備及び焼結条件の最適化が不要でかつ容易に一次元アレイ構造の積層型圧電アクチュエータを製造することができる。

【0015】

【発明の実施の形態】この発明の積層型圧電アクチュエータは、断面が数mm×0.5mm程度で、100μm程度の幅の圧電セラミクス層を積層した物である。焼結済みの圧電セラミクス基板を用いることで、大規模な設備や焼結条件の最適化を必要としない積層型圧電アクチュエータの製造方法を実現する。この積層型圧電アクチュエータはダイシング加工で形成した狭くて深い溝の内部に、ニッケルの電解メッキにより内部電極及び外部電極となる金属を充填し、レーザー支援エッチングにより内部電極と外部電極の接続部を局所的に切断することで、積層アクチュエータとして動作する構造を得ることができる。

30 【0016】また、本発明は、直線状に複数個の積層型圧電アクチュエータが規則的に配列した基板に対し、レーザー支援エッチングを行い、アクチュエータ各素子間の不要部分を切断することで、積層型圧電アクチュエータの一次元アレイ構造を一体成形することができるものである。

40 【0017】以下、図面に示した好適な実施の形態の詳細を説明する。図1は本発明の積層型圧電アクチュエータ製造方法を示す図であり、(a)は製造工程図、(b)は工程図(2)における圧電セラミクス基板の一部の上面図、(c)は工程図(8)における圧電セラミクス基板の一部上面図である。図1を参照して、本実施形態に係る積層型圧電アクチュエータの製造方法は、先

ず、図1(a)の工程図(1)及び(2)に示すように、厚さが $500\mu\text{m}$ 程度の平板形状の圧電セラミクス基板1の表面に、この表面から深さが $100\mu\text{m}$ 程度、幅が $30\mu\text{m}$ 程度の溝を $130\mu\text{m}$ 程度のピッチで、図1(b)に示すように格子状の溝3を加工する。

【0018】この溝加工には例えばダイシング・ソーを使用し、溝加工用のダイシング・ブレードとしては例えば厚さ $25\mu\text{m}$ の非常に薄い物を使用する。この格子状の溝3の深さは、後述する電解メッキで溝内部に空洞が生じないように金属を充填可能な $100\mu\text{m}$ 程度と浅く形成するのがよい。

【0019】圧電セラミクス基板としては、チタン酸バリウム(BaTi_3)、PZT(チタン酸ジルコン酸鉛、 $\text{Pb}(\text{Ti}_x, \text{Zr}_{1-x})_3$)及び結晶成分Pb、Zr、Ti以外の微量成分を添加したPZT系材料等を使用できるが、圧電特性の良好な材料がよい。なお、ここではPZT系材料はPZTも含む。

【0020】次に、工程図(3)に示すように格子状の溝3の溝内部を含む圧電セラミクス基板1表面上に導電性の薄膜5をスパッターなどで堆積し、工程図(4)に示すように圧電セラミクス基板1上面の堆積した薄膜を研磨して取り除く。導電性の薄膜は膜の密着性がよくスパッタリングで形成可能な物が好ましい。例えば本実施形態ではAu/Crを使用した。

【0021】次いで工程図(5)に示すように、導電性の薄膜5を電極として、例えばニッケルの電解メッキを行い、格子状の溝3内部を金属電極7、例えばニッケルで充填する。図示していないが本実施形態ではニッケルの電解メッキ浴として、内部応力が低く、高速なメッキが可能なスルファミン酸ニッケル及び塩化ニッケルの混合浴を用いた。

【0022】次に工程図(6)に示すように、圧電セラミクス基板1裏面から金属電極7が露出する約 $400\mu\text{m}$ の深さまで第一回目のダイシング加工と位置を合わせて、第二回目のダイシング可能を行う。このとき底部に金属電極が露出しないと、次の電解メッキを行うことが不可能となるので、第二回目のダイシング位置及び深さは正確に合わせる必要がある。

【0023】そして、工程図(7)に示すように、第一回目にメッキしたニッケルを電極として第二回目のニッケル電解メッキを行い、格子状の溝3をニッケルで完全に充填し、電極部9を形成する。このようにダイシングと電解メッキを二回行うことにより幅の狭い高アスペクト比の溝に空洞を生じずに金属を充填することができ。なお、後述するがこの電極部は積層型圧電アクチュエータの内部電極及び外部電極になるが、本実施形態では同時に一体的に形成可能である。

【0024】最後に、工程図(8)及び図1(c)に示すように、レーザー支援エッチング(以下、「LAE」と記す)により、反応性雰囲気中で試料の表面にレーザ

ーを収束して照射し、電極部9を内部電極13と外部電極15とが交互につながっているように局所的に切断する。

【0025】このLAEによる局所的にエッチングする技術は、使用するレーザーの波長や反応性雰囲気との組み合わせによって、各種の圧電セラミクスに適用できる。なお、工程図(8)及び図1(c)における11は切断部を示す。また工程図(8)は図1(c)のA-A'断面の一部を端面に示す。

10 【0026】図2は本実施形態に係る格子状の溝に電極部が形成された圧電セラミクス基板の上面図であり、(a)は図1(a)の工程図(8)で示した圧電セラミクス基板の両端部に形成されていた金属電極を除去した上面図、(b)は(a)図の一方の端部を切断した上面図である。

【0027】図2(a)に示すように、内部電極13が交互に外部電極15につながっているように電極部9を切断し、図2(a)及び(b)に示すように、同時に積層型圧電アクチュエータ素子20間の分離も行い、この積層型圧電アクチュエータ素子20が一次元アレイ構造に形成される。

【0028】したがって、本実施形態の積層型圧電アクチュエータの製造方法では、LAEによって圧電セラミクス基板の一部をつないだまま素子間だけを分離することができるので、一体型の一次元のアクチュエータ・アレイが容易に製作できるとともに、層数の多い積層アクチュエータが製造できる。

【0029】次に本実施形態に係るLAEについて説明する。図3は本実施形態に係るLAE装置概略図である。図3を参照して本実施形態に係るLAE装置30は、パルスステージ21と、このパルスステージを駆動するパルスモータドライバ23と、パルスステージを制御するステージコントローラ25と、このステージコントローラとNd:YAGレーザー29に同期制御信号を送り制御するコンピュータ27と、反射鏡31と、レンズ33と、PZT35を固定台36に取り付けると共にFeCl₃水溶液37中に入れた容器39とを備えている。なお、図3中の矢印は制御信号の流れを示す。

【0030】通常、PZTのLAEでは反応性雰囲気としてKOH水溶液が使用されるが、本実施形態ではPZTと同時にニッケルのエッチングを行う必要がある。ニッケルはKOH水溶液に対する耐性が高く、レーザー光によってアシストしても容易にはエッチングされない。そこで、KOHの代わりに、ニッケルのエッチャントの一つであるFeCl₃水溶液を使用する。

【0031】しかし、通常使用されるような30~40wt%程度の溶液を使用すると、レーザーを照射していない部分までエッチングされてしまうので、2~5wt%の希薄な水溶液を使用するのが好ましい。このようにFeCl₃水溶液ではレーザー光を照射した部分が加熱

され、化学反応が促進された結果、ニッケル部分もエッチングすることができる。

【0032】次に、本実施形態に係る積層型圧電アクチュエータについて説明する。図1に示した製造工程は、一枚の圧電セラミクス基板上に複数の積層型圧電アクチュエータを形成したもので、一次元アレイ構造の積層型圧電アクチュエータが製造できる。これらを切り離してアクチュエータ単体として使用することも可能である。

【0033】本発明に係る積層型圧電アクチュエータは、一方の外部電極に立設した内部電極と、他方の外部電極に立設した内部電極とを相互に対向して設け、これら一以上の両内部電極間に圧電体を固定して挟み込んだ構造を備えるものである。

【0034】図4は本実施形態に係る積層型圧電アクチュエータ単体の外観図である。図4を参照して、積層型圧電アクチュエータ単体40は、内部電極43が交互に外部電極45、45に接続され、この内部電極43、43間に圧電セラミクス41が挟まれ、層構造をなす圧電セラミクス41が外部電極45、45に対して間隙46を有する。つまり、櫛形の電極45、45を2つ相互に噛み合わせ、内側に位置する電極43、43間に圧電セラミクス41を挟んだ構造を有する。この積層型圧電アクチュエータ単体40の外部電極45、45に電圧印加可能に電気端子48が設けられる。

【0035】圧電セラミクスのPZT層の幅L1は100 μ m、ニッケル内部電極43の幅L2は30 μ m、厚さdは500 μ mである。特性を評価するために、

(a) 幅Wが3mm、PZT層数Nが23層、(b) 幅Wが2mm、PZT層数Nが60層、(c) 幅Wが2mm、PZT層数Nが120層、の同形状の積層型圧電アクチュエータを作製した。これらの積層型圧電アクチュエータを分極した後、電圧を印加して変位を測定した。分極条件は100 $^{\circ}$ C、DC200V、30分である。

【0036】図5は本実施形態に係る積層型圧電アクチュエータの変位特性図である。図5に示すように、100Vの電圧を加えたとき圧電効果により、Nが23層で2.5 μ m、Nが120層で7.3 μ mの変位が得られる。これらの値は使用した材料の圧電定数から計算される変位とはほぼ一致しており、バルク材料の圧電特性がそのまま反映されている。したがって本発明に係る積層型圧電アクチュエータでは変位発生力や周波数応答についても圧電特性から計算される特性が得られる。

【0037】従来のグリーンシートの積層体を焼結するプロセスでは、焼結時の条件の変化によって圧電特性がばらつく恐れがあるが、本実施形態では圧電セラミクスのバルク材料をダイシングするため圧電特性のばらつきが生じる恐れが無く、特性の揃った積層型圧電アクチュエータを製作することができる。

【0038】次に、本実施形態の使用方法について説明する。図6は本発明に係る触覚ディスプレイ用アクチュ

エータ・アレイの外観図である。図6に示すように、本発明に係る触覚ディスプレイ用アクチュエータ・アレイ50は、例えば配線基板53上に一次元アレイ構造積層型圧電アクチュエータ51を二次元状に配列したものであり、各積層型圧電アクチュエータ単体又はドット状を形成する複数の積層型圧電アクチュエータを触覚に対応する点ドットにして触覚ディスプレイに利用するものである。

【0039】また一次元アレイ構造の積層型圧電アクチュエータでは、電気配線のスイッチングアレイに適用可能であり、また積層型圧電アクチュエータ単体ではディスクなどのポジショナーとしても利用可能である。

【0040】なお、本発明は例示的な実施の形態について説明したが、開示した実施形態に関して、本発明の要旨及び範囲を逸脱することなく、種々の変更、省略、追加が可能であることは当業者において自明である。したがって本発明は実施の形態に限定されるものではなく、請求の範囲に記載された構成要素によって規定される範囲及びその均等範囲を包含するものとして理解されなければならない。さらに好適な実施の形態において説明する具体的な数値等は本発明の範囲を限定するものではなく、必要に応じて適宜変更可能である。

【0041】

【発明の効果】以上の説明から理解されるように、本発明の積層型圧電アクチュエータでは、圧電特性のばらつきがなく、最適変位発生力や周波数応答を得ることができるという効果を有する。また本発明の積層型圧電アクチュエータの製造方法では、大規模な炉などの設備及び焼結条件の最適化が不要でかつ容易に一次元アレイ構造の積層型圧電アクチュエータを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の積層型圧電アクチュエータ製造方法を示す図であり、(a)は製造工程図、(b)は工程図(2)における圧電セラミクス基板の一部上面図、(c)は工程図(8)における圧電セラミクス基板の一部上面図である。

【図2】本実施形態に係る格子状の溝に電極部が形成された圧電セラミクス基板の上面図であり、(a)は図1(a)の工程図(8)で示した圧電セラミクス基板の両端部に形成されていた金属電極を除去した上面図、(b)は(a)図の一方の端部を切断した上面図である。

【図3】本実施形態に係るLAE装置の概略図である。

【図4】本実施形態に係る積層型圧電アクチュエータ単体の外観図である。

【図5】本実施形態に係る積層型圧電アクチュエータの変位特性図である。

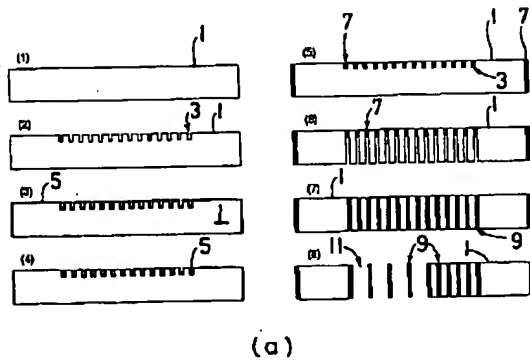
【図6】本発明に係る触覚ディスプレイ用アクチュエータ・アレイの外観図である。

【符号の説明】

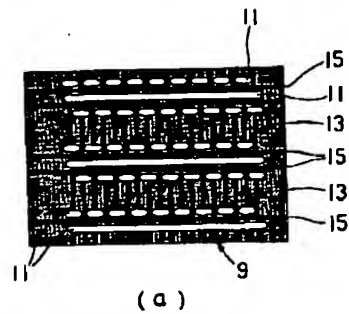
1 圧電セラミクス基板
 3 格子状の溝
 5 薄膜
 7 金属電極
 9 電極部
 11 切断部
 13, 43 内部電極
 15, 45 外部電極
 20 積層型圧電アクチュエータ素子
 21 パルスステージ
 23 パルスモータードライバー
 25 ステージコントローラ
 27 コンピュータ

29 レーザー
 31 反射鏡
 33 レンズ
 35 PZT
 36 固定台
 37 FeCl_3 水溶液
 39 容器
 40 積層型圧電アクチュエータ単体
 41 圧電セラミクス
 46 間隙
 48 電気端子
 50 触覚ディスプレイ用アクチュエータ・アレイ
 51 一次元アレイ構造積層型圧電アクチュエータ
 53 配線基板

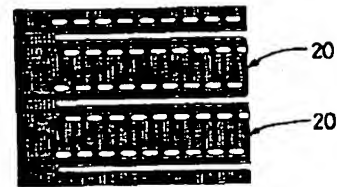
【図1】



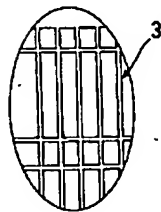
【図2】



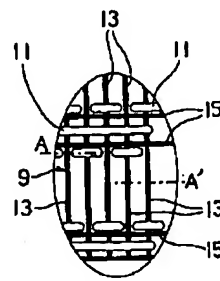
(a)



(b)



(b)



(c)

【図3】

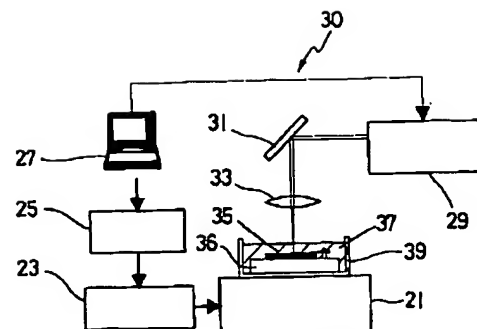
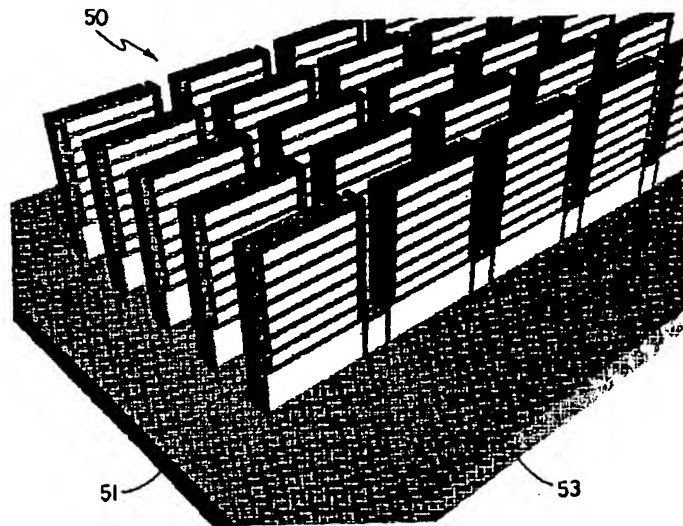


Figure 1 is a line graph showing the relationship between driving voltage (V) on the x-axis and displacement (μm) on the y-axis. The x-axis ranges from 0 to 200 V with major ticks every 50 V. The y-axis ranges from 0 to 12 μm with major ticks every 2 μm. Three data series are plotted:

- 23 layers (solid line with square markers):** This series shows the lowest displacement for a given voltage. It starts at (0,0) and increases to approximately 3.8 μm at 200 V.
- 60 layers (dashed line with triangle markers):** This series shows intermediate displacement. It starts at (0,0) and increases to approximately 6.8 μm at 200 V.
- 120 layers (dotted line with circle markers):** This series shows the highest displacement for a given voltage. It starts at (0,0) and increases to approximately 12.2 μm at 200 V.

The graph demonstrates that for a fixed driving voltage, the displacement increases as the number of layers increases. Conversely, for a fixed number of layers, the displacement increases linearly with the driving voltage.

【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 鈴木 学
宮城県仙台市太白区向山1-8-23 海藤
アパート1

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.